

# COLABORACION HIDROLOGICA

---

## La Meteorología en la construcción de presas

(Continuación.)

Por JACOBO LOPEZ DE REGO STOLLE  
Meteorólogo

Servicio Meteorológico de Marruecos

VI.—*Determinación de la crecida máxima probable*: Es este un problema de los que realmente preocupan al ingeniero encargado del proyecto de una presa, ya que en la elección de dicha crecida tienen influencia consideraciones sociales, económicas y otras no hidrológicas, aparte de las condiciones de las características de la crecida, su frecuencia y la potencialidad de la cuenca tributaria situada aguas arriba del sitio del proyecto.

El efecto que sobre la estabilidad de una presa tienen las crecidas excepcionales es doble:

1.º Aumenta el peso específico del agua, que puede alcanzar un 30 por 100.

2.º Sobreleva el plano de agua embalsada.

Es por esto que la crecida máxima probable se emplea principalmente para el estudio de las presas de protección contra las inundaciones y para el cálculo del vertedero de las grandes presas y, en este sentido, significa el caudal máximo que puede pasar sin daño o amenaza seria a la estabilidad de las estructuras de la ingeniería. Si en un proyecto particular se ha previsto un vertedero de emergencia, en tal caso, la crecida para el cálculo del vertedero será la capacidad de descarga total de ambos, el vertedero convencional y el de emergencia.

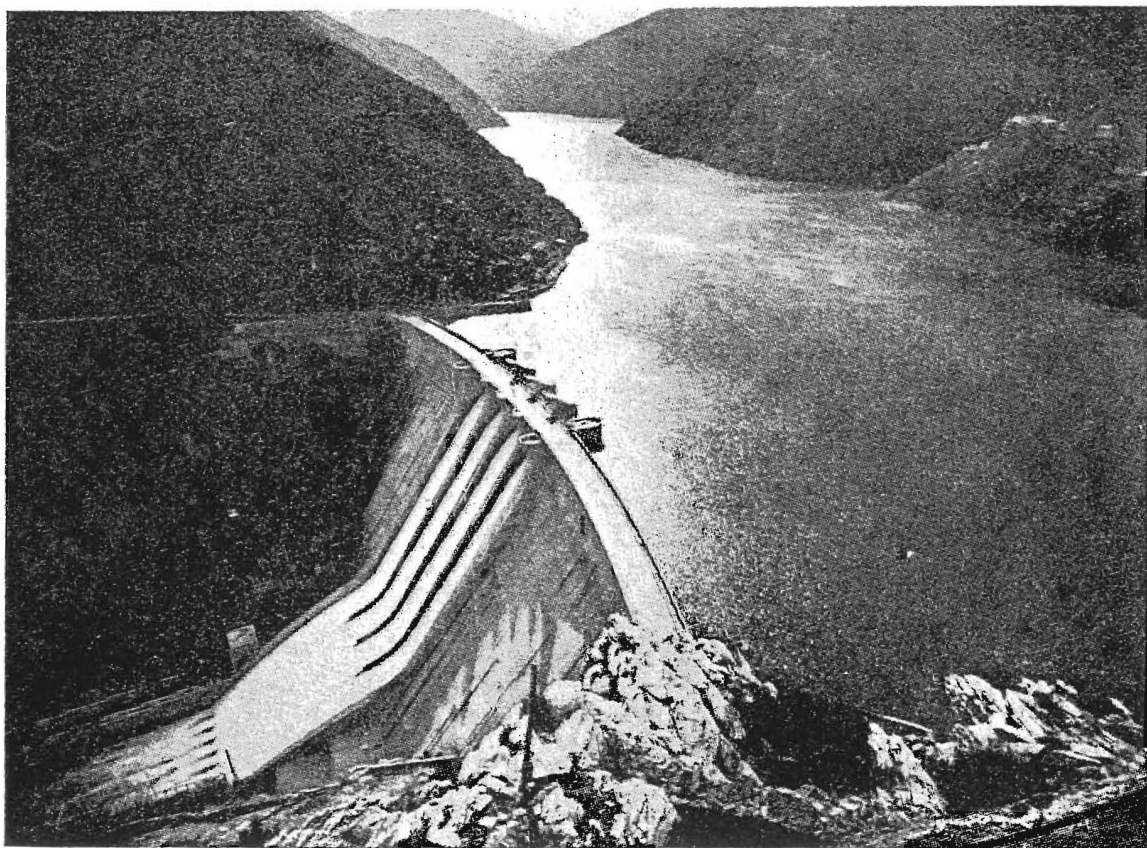
La elección apropiada de la crecida para el cálculo del proyecto es de la mayor importancia, ya que afecta a la seguridad y al costo de cualquier estructura, aunque no esté destinada principalmente para el control de crecidas. Tomar para el cálculo del proyecto una crecida demasiado pequeña envuelve un gran riesgo, no solamente por el fallo de la estructura misma y de los servicios que proporciona, sino también por la seguridad de las personas y bienes situados aguas abajo. Por otra parte, una crecida excesiva para el cálculo dará una estructura innecesariamente costosa que puede afectar adversamente la posibilidad económica del proyecto.

Los métodos más usados para determinar la crecida máxima para el cálculo de un proyecto de presa son los siguientes:

- 1.º Aplicación de un coeficiente de seguridad a la máxima crecida histórica observada o calculada.
- 2.º Empleo de fórmulas empíricas para las crecidas.
- 3.º Método de curvas envolventes.
- 4.º Análisis estadísticos de la frecuencia de las crecidas.
- 5.º Cálculo de la crecida máxima probable.

Los cuatro primeros métodos se basan enteramente en el caudal de crecida observado o calculado que experimenta el río que se estudia o uno cercano y no profundizan en los factores responsables de la producción de las mismas.

a) El método de aplicación de un factor de seguridad viene limitado por la gran subjetividad en la elección de dicho factor y porque la longitud de la serie de datos disponibles del caudal puede dar una muestra completamente inadecuada de las magnitudes de las crecidas que pueden ocurrir en un período de tiempo más largo.



b) Las fórmulas empíricas son intentos de llegar a una relación sencilla entre la punta de la crecida y uno o más de los factores que pueden producirla y, en este sentido, pueden agruparse en tres categorías:

1.º Fórmulas que utilizan únicamente el área de la cuenca y cuyo tipo general es de la forma:

$$Q = C.A^n \quad (\text{Myer.})$$

2.º Fórmulas que hacen intervenir el régimen pluviométrico de la cuenca y son del tipo:

$$Q = \lambda m \bar{H} A$$

3.º Fórmulas que tienen en cuenta la frecuencia de las crecidas:

$$d(T) = q_1 (1 + 0,8 \log T) \quad (\text{Fuller.})$$

Todas estas fórmulas tienen limitadas aplicaciones regionales y no dan ninguna información sobre el período de retorno de las crecidas calculadas a partir de ellas. Deben ser aplicadas con mucha precaución y únicamente cuando, por falta de datos, no puedan emplearse otros métodos.

c) La aplicación del método de curvas envolventes tiene la ventaja sobre los anteriores que no supone ninguna elección subjetiva de los coeficientes, pero su utilidad viene limitada por el hecho de que únicamente se tiene en cuenta la superficie de la cuenca, ignorando las otras características físicas de la misma. Además, no da indicación precisa sobre la probabilidad de la crecida máxima seleccionada.

d) Cuando se dispone de una serie suficientemente larga de observaciones del caudal, se utiliza el análisis estadístico, empleando los métodos corrientes en este tipo de análisis, que responden al problema: ¿Cuál será la probabilidad de que el caudal sea igual o superior a un valor determinado, durante un período de tiempo dado? A la distribución de los valores del caudal se le ajusta una de las conocidas leyes teóricas de probabilidad (Gaus, Galton, Gumbel, etc.) y luego se extrapola para determinar la crecida centenaria, milenaria, etc.

Este método es el más racional, ya que su proceso es correcto y está libre de criterios subjetivos. Por otra parte, empleando este método, se puede tener en cuenta el pretendido riesgo calculado y, al mismo tiempo, pueden ser investigadas las variaciones del mismo, respecto al valor de la crecida de máxima seleccionada.

La extrapolación de la serie de caudales supone considerable error de muestreo y la precisión de la crecida máxima calculada por este método.

disminuye con el grado de extrapolación. No hay acuerdo general entre los autores sobre esta materia, pues mientras que unos limitan la extrapolación a dos veces la longitud de la serie, otros extrapolan hasta 10 ó 100 veces la longitud de la misma. Es esta gran incertidumbre en la extrapolación lo que hace prudente comparar el resultado así obtenido con los valores calculados por otros métodos.

Como la mayor dificultad para emplear este análisis estadístico proviene de la falta de series foronómicas suficientemente largas, ciertos hidrólogos emplean para paliar este inconveniente el método de estaciones-años, que consiste en combinar los datos de dos o varias estaciones, para obtener una serie única que se supone equivale a la que hubiera sido efectuada en una sola estación durante un período dos o varias veces más largo.

Sin entrar en detalles, diremos solamente que para que este método dé buenos resultados, hacen falta dos condiciones: (1) independencia entre los datos de las estaciones y (2) buena homogeneización climatológica y geológica de las cuencas.

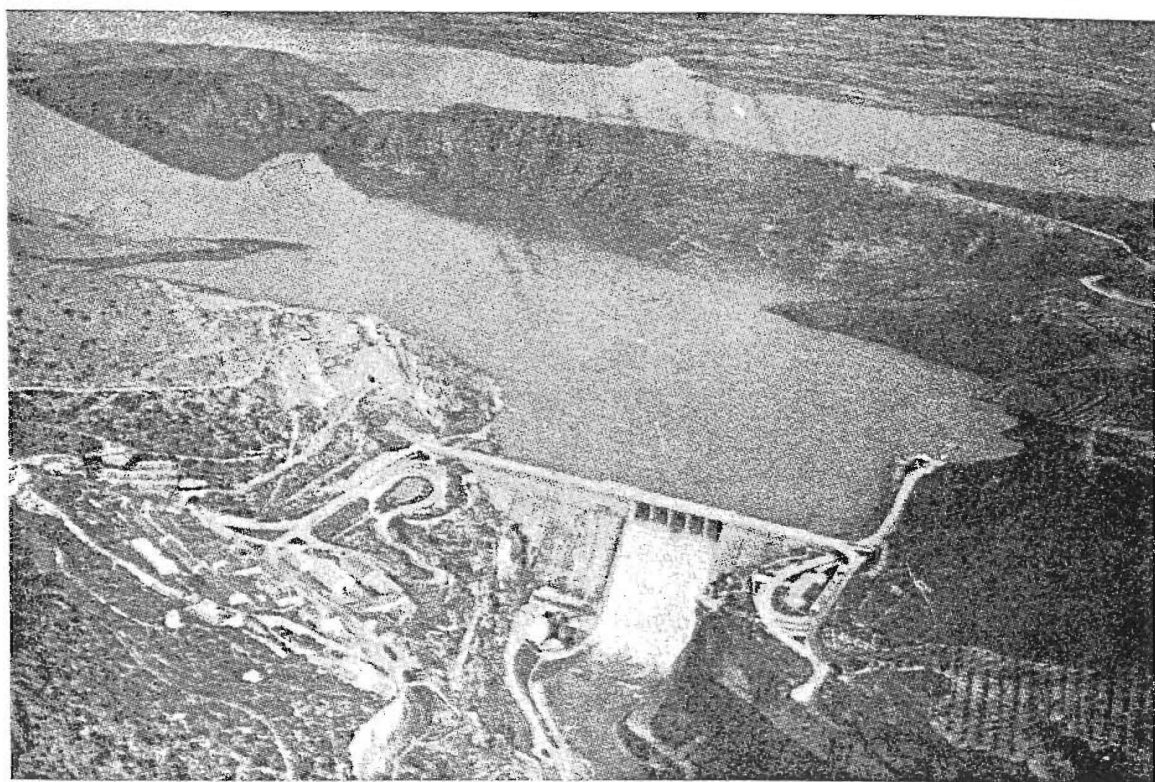
Estas dos condiciones, un poco contradictorias limitan el campo de aplicación de este método.

e) El método de la «crecida máxima probable» se basa en el cálculo de la crecida, que resulta de la más crítica combinación de las condiciones meteorológicas e hidrológicas más severas que se consideran físicamente posibles en la región que se estudia. Su determinación se hace:

1) Calculando la precipitación máxima probable (P. M. P.), problema en que puede decirse que intervienen todas las ramas de la Meteorología (sinóptica, aerología, climatología, etc.) y, aunque su proceso es laborioso, ya que supone aumentar al máximo las características meteorológicas de los mayores chubascos seleccionados, recurriendo si hace falta al método de transposición de chubasco, está al alcance de los actuales conocimientos meteorológicos.

2) A continuación viene la transformación de esta PMP en caudal, utilizando cualquiera de las relaciones antes mencionadas y teniendo cuidado de reducir al mínimo la capacidad de infiltración. Esta, como ya sabemos, depende no sólo de la naturaleza del suelo, sino también de su cubierta vegetal, lo que hace difícil su determinación. En la práctica, se toma como promedio 1 mm/h. o, mejor aún, 1 mm/h. las primeras doce horas, 0,8 mm/h., las segundas doce horas y 0,5 mm/h., para el resto del período del chubasco.

3) El hidrograma de la crecida se determina aplicando el método del hidrograma unitario. En el caso de una cuenca muy grande, se divide en



cuencas parciales, a las cuales se les aplica el procedimiento anterior y luego se suman los distintos hidrogramas, desplazándolos al lugar de la presa por la teoría de la propagación de crecidas.

El método de la crecida máxima probable tiene la ventaja de que proporciona un alto grado de seguridad. Sin embargo, el grado real de protección no puede fijarse en términos de probabilidad y no es posible determinar la cuantía del riesgo que supone adoptar para el cálculo del proyecto una crecida más pequeña que la CMP. No obstante, cuando el fallo de la estructura puede suponer pérdida de vidas humanas o daños catastróficos aguas abajo, además de los daños de la misma presa, se necesita un alto grado de seguridad y se recomienda tomar para el proyecto el valor de la crecida máxima probable. Por el contrario, en proyectos donde el fallo de la estructura no supone pérdida de vidas humanas, ni daños catastróficos, se puede aceptar algún riesgo de fallo de la estructura y la crecida adoptada para el proyecto puede determinarse por consideraciones económicas, pudiendo llegar a ser un 40 ó 60 por 100 de la crecida máxima probable.

VII.—Durante la construcción de la estructura, el ingeniero tiene necesidad de los datos de temperatura del aire para determinar los límites de un buen hormigonado; la temperatura del agua y la radiación sobre el paramento exterior para conocer el espesor de las zonas sometidas a dilatación; la distribución de los días de lluvia para el cálculo del factor paro-intemperie que incide económicamente sobre el proyecto y, por último, la previsión de crecidas.



La determinación de los 4 primeros elementos meteorológicos entra dentro de la rutina cotidiana de la Meteorología y, en cuanto a la previsión de crecida, su importancia, no sólo en esta fase, sino también en la operacional, merece una especial mención.

VIII.—La previsión en el campo de la Hidrología es necesaria en problemas relacionados con la regulación racional del caudal, la utilización de la energía de la corriente, la navegación interior, la irrigación y el suministro de agua. También tiene gran importancia para prevenirse contra los fenómenos peligrosos de los ríos y en la construcción de estructuras hidráulicas. Por ejemplo, predecir el caudal estacional y la punta de la crecida, hace posible proyectar y construir las presas más económicamente, reduciendo las dimensiones del vertedero. Sin embargo, muchas de las exigencias relacionadas con la previsión para fines hidrológicos, no han sido aún completamente satisfechas, dado el estado actual de desarrollo de la Hidrología y de la Meteorología, a causa de que las expresiones matemáticas que relacionan los procesos que tienen lugar entre una zona de la tierra, la atmósfera y la red de canales, presentan muchas dificultades. Incluso las observaciones y medidas son limitadas. Es, por esto, que los métodos de correlación son los más empleados.

El valor económico de la previsión depende de su precisión y del período de tiempo que cubre. La precisión varía, en general, inversamente al período de tiempo. De acuerdo con esto, y teniendo en cuenta los distintos métodos empleados, las previsiones pueden dividirse en tres categorías:

1.<sup>a</sup>) *Previsiones hidrológicas*: Con métodos basados en las leyes que gobiernan el movimiento del agua en los canales, principalmente la propagación de las ondas de crecida. Estas son previsiones a corto plazo y su grado de precisión para determinar la altura y el caudal del río, es aceptable.

2.<sup>a</sup>) *Previsiones hidrometeorológicas*: Que se basan en el análisis de los procesos hidrológicos y meteorológicos que tienen lugar en las cuencas. Este grupo incluye los métodos de previsión del caudal, usando los datos de precipitación, equivalente en agua de la capa de nieve, humedad del suelo, aguas subterráneas y otros factores. Un importante desarrollo de estos métodos es debido al análisis de la correlación entre estos datos empíricos para cada cuenca específica.

Su grado de precisión es menor que el anterior, debido a que la previsión cuantitativa de la precipitación no está todavía puesta a punto, pero el período es mucho mayor, prácticamente, el tiempo de concentración de la cuenca.

3.<sup>a</sup>) *Previsiones meteorológicas*: Basadas en los procesos de la circulación atmosférica. Este método es el único realmente de previsión a largo plazo, pero debido a su gran imprecisión actual, que aumenta con el período

de tiempo, lo hacen inservible para las aplicaciones hidrológicas. También es de señalar que por éste método se llega únicamente a la determinación de la precipitación en la cuenca, siendo necesario, por tanto, emplear a continuación la previsión hidrometeorológica para determinar el caudal.

IX.—Finalmente, ¿qué perspectiva ofrece para este problema de las presas el futuro desarrollo de la Meteorología? Anteriormente, vimos la importancia que una exacta previsión con fines hidrológicos tiene en el dimensionamiento de las presas, al poder actuar por adelantado sobre su ciclo operacional, desaguando o reteniendo el agua almacenada, sin perjudicar los usos a que está destinada. También vimos las limitaciones respecto al período de tiempo que tienen las previsiones hidrológicas e hidrometeorológicas, las primeras reducidas a la longitud del tramo del río, y las segundas al tiempo de concentración de la cuenca. No queda, por tanto, otra salida que mejorar las previsiones meteorológicas, aumentando al mismo tiempo su precisión y su período de validez. En este sentido, cabe señalar que la OMM va adoptar la VMM, plan que tiene por objeto principal la mejora de las previsiones meteorológicas a escala mundial, superando las previsiones nacionales que hasta ahora venían efectuándose. Claro está, que esto supondrá una mejora en la precisión de las previsiones y en el período de tiempo, y no sería de extrañar que en diez o quince años, quedase este problema resuelto satisfactoriamente, por lo menos, para previsiones de un mes, período suficiente para ajustar al ciclo operacional de las presas.

Pero aún hay algo más, el plan de la VMM contiene también un proyecto de estudios encaminados a la modificación artificial del clima y, bien pudiera ser, que dentro de cincuenta años tuviéramos que revisar las ideas actuales sobre el aprovechamiento de los recursos en agua.

X.—No quisiera terminar este artículo sin subrayar los dos fines que me había propuesto al hacerlo y que se desprenden lógicamente del mismo y son:

a) En primer lugar, hacer ver el papel que la Meteorología tiene en la resolución de problemas que se le presentan al ingeniero. No pretendo exagerar diciendo que sea imprescindible para la realización de la obra, pero no cabe duda que sin su concurso, no es posible hacer un proyecto realmente bien dimensionado y económicamente ajustado, sin despilfarro de dinero o energía.

b) Y, en segundo lugar, poner de manifiesto el espíritu de equipo que debe reinar en la complicada técnica moderna, en la cual las diferentes disciplinas se entrecruzan y solapan. Esta idea de colaboración sincera y eficaz, sin egoismos absurdos, de compartimientos estancos de competencia, entre las diferentes ramas de la técnica, producen resultados sorprendentes en la tarea común de la revalorización económica del país.